



AIHIONHIOMAKONEEN TEHON NOSTO

Heikkilä Mikko

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Konetekniikan koulutus
Insinööri (AMK)

2017

Tekniikka ja liikenne
Kone- ja tuotantotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Mikko Heikkilä	Vuosi	2017
Ohjaaja	DI Ari Pikkarainen		
Toimeksiantaja	Outokumpu Oyj		
Työn nimi	Aihionhiomakoneen tehon nosto		
Sivu- ja liitesivumäärä	39 + 5		

Opinnäytetyö tehtiin Outokumpu Stainless Oyj:n jaloterässulaton aihiohiomoon. Aihiohiomossa pyritään poistamaan viat aihioista ennen kuumavalssausta. Työn tavoitteena oli selvittää optimaaliset hiontatehot ja sitä kautta parantaa aihiohiomon läpimenoaikoja. Hiomakoneiden hiontatehon nostamiseen liittyviä mahdollisia ongelmia tutkittiin käyttövarmuuden ylläpitämiseksi.

Käytännön osuudessa hiontaparametrien merkitystä hiontatuloksen kannalta tutkittiin testihiontojen avulla. Koneiden käyttövarmuutta tutkittiin laakereiden värähtelyä ja lämpötilojen nousua mittaamalla. Hiomakiven kulumisen hiontatehon nostamisen yhteydessä oli myös tutkimuksen kohde.

Hiontateho ja hiontapöydän nopeus säätelevät lastuamissyvyyttä ja ovat siksi tärkeimmät parametrit aihiohionnassa. Suuren tehon käyttö mahdollistaa korkeiden hiontapöydän nopeuksien käytön, koska tehonlisäys lisää materiaalinpoistotehokkuutta, kun taas hiontapöydän nopeus pyrkii vähentämään lastuamissyvyyttä.

Tutkimuksessa saatiin selville, että hionnan nopeuttamiselle löytyy potentiaalia hiontamoottorin tehoa lisäämällä ja sitä kautta hiontapöydän maksimaalisien nopeuksien käytöllä.

Avainsanat

aihio, hionta, aihionhiomakone

Technology, Communication and Transport
Mechanical and Production Engineering
Bachelor of engineering

Author	Mikko Heikkilä	Year	2017
Supervisor	Ari Pikkarainen, (M.Sc.)		
Commissioned by	Outokumpu Oyj		
Subject of thesis	Optimizing the Efficiency of Slab Grinding Machine		
Number of pages	39 + 5		

This thesis was made for the grinding shop of the steel melting shop at Outokumpu Stainless. The aim of the thesis project was to optimize the grinding efficiency and to study the potential problems related to increasing the grinding power to maintain reliability.

In the practical part of this thesis, the significance of grinding parameters for the grinding result was studied by means of grinding tests. The reliability of the machines was studied by measuring the oscillation of the bearings and measuring possible temperature rise of the machine. The purpose of the work was to improve the reliability and efficiency of the grinding machines. The wear of the grinding wheel was also a subject of the study.

The grinding power and grinding table speed control the cutting depth and are therefore the most important parameters in grinding. High power utilization enables high grinding table speeds, as the power increases the material removal efficiency, while the grinding table speed tends to reduce the chip depth.

As a result of the research, it was found that there is potential to cut down the throughput time of grindings by increasing the efficiency of the grinding motor and by using the maximum grinding table speeds.

Key words power, grinding, slab grinding machine

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	8
2 OUTOKUMPU OY	9
2.1 Jaloterässulatto.....	10
2.2 Aihiohiomo	11
2.2.1 Hiomakoneet 4 ja 5	12
2.2.2 Koneen rakenne ja toiminta.....	13
3 HIONTA	15
3.1 Hiontamenetelmät.....	16
3.2 Tasohionta	17
3.3 Hionta-ohjelmat.....	18
3.4 Pinnanlaatu	18
4 HIONTAPARAMETRIT	20
4.1 Materiaalinpoistotehokkuus	20
4.2 Hiomakiven kuluminen.....	20
4.3 Hiontapöydän nopeus	21
4.4 Hiontapään kulma	21
5 TEHON NOSTON VAIKUTUS.....	22
5.1 Materiaalinpoistotehokkuus	23
5.2 Teho ja pinnanlaatu	24
6 KUNNONVALVONTA JA MITTAUKSET	25
6.1 Kunnossapito	25
6.2 Lämpötilan mittaus.....	26
6.3 Värähtelyn mittaus	27
7 TESTIT	30
7.1 Tulokset	31
7.1.1 Hionta-ajat.....	32
7.1.2 Värähtelymittaukset.....	33
7.1.3 Lämpötilamittaukset	33
7.2 Vertailu.....	36
8 POHDINTA	37

LÄHTEET.....	38
LIITTEET	39

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Outokumpu Tornio Worksin tehtailla 1.6.2017-26.11.2017 välisenä aikana, tarkoituksena tutkia aihiohiontoja ja hiomakoneiden toimintaa. Haluan kiittää Outokumpu Stainless Oy:tä mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyö aihiohiomossa.

Haluan kiittää opinnäytetyöni valvojaa Ari Pikkaraista palautteesta ja avusta. Outokummulla ohjaajana toiminutta Eeva Koivistoa sekä Emilia Junttaria avusta ja palautteesta työn aikana.

Terässulaton aihiohiomon henkilöstöä kiitän avusta testien aikana. Erityisesti haluan kiittää C-vuoron työntekijöitä, joiden kanssa olen saanut työskennellä usean vuoden ajan. Kiitokset perheelleni tuesta opintojen aikana. Kiitokset myös opiskelukavereilleni mukavista opiskeluhetkistä.

Lopuksi haluan kiittää tyttöystävääni tuesta ja avusta opintojeni ja opinnäytetyön aikana.

Tornio, 26.11.2017

Mikko Heikkilä

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

HK	hiomakone
MRR	materiaalinpoistotehokkuus
G	hiomakiven suorituskky
kW	kilowatti

1 JOHDANTO

Outokummun jaloterässulatolla valettavien aihoiden laatu on erittäin tärkeä asia, jotta saadaan kerralla valmista terästä asiakkaalle ajallaan ja ilman reklamointeja. Reklamaatiot ja moneen kertaan tekeminen maksaa yhtiölle. Aihiohiomon käyttöpäällikön Emilia Junttarin ja tutkimusinsinööri Eeva Koiviston toiveesta otin vastaan opinnäytetyön. Työn aiheena on hiontaparametrien optimoiminen terässulatön aihiohiomossa ja hiomakiven kulumisen parametrien muuttuessa.

Hiontaa vaativien terästen tuotantomäärät kasvattavat paineita valettujen aihoiden hionnalle. Hionta on vakiotehoista tasohiontaa suurella materiaalinpoistolla. Tehokkaalla hionnalla voidaan vaikuttaa nopeaan läpimenoaikaan. Hiontatehon kasvaessa tarkastelun kohteena on hiomakoneen kunnossapidolliset mittarit, kuten laakereiden värähtely sekä lämpötila. Työn tutkimusosassa tarkastellaan parametrien vaikutusta hionta-aikoihin. Tutkimus toteutetaan titaanistabiloiduilla teräslajeilla, mutta tuloksia voidaan soveltaa myös muihin hiontoihin.

Hiomakoneiden 4 ja 5 maksimihiontateho on 315 kilowattia ja hiontapöydän maksiminopeus on 60 m/min. Hiontatehon rajoitus on asetettu 175 kilowattiin. Oletettavasti kunnossapidollisista syistä asetetun tehorajoituksen tarpeellisuutta haluttiin testata, koska siten saataisiin lisättyä kapasiteettia. Testien aikana hiontatehoa ja hiontapöydän nopeutta nostetaan maltillisesti askeleittain. Ensin teho nostetaan 189 kilowattiin, jonka jälkeen 215 kilowattiin ja viimeiseksi 235 kilowattiin.

2 OUTOKUMPU OY

Outokumpu Oyj on metalliteollisuuden globaali suuryritys, joka toimii 30 maassa. Outokumpu on ruostumattoman teräksen markkinajohtaja maailmassa ja sen palveluksessa on yli 11 000 ammattilaista. Outokummun ruostumatonta terästä käytetään monipuolisiin käyttötarkoituksiin muun muassa keittiövälineisiin, siltoihin, energialaitteisiin ja lääkinnällisiin laitteisiin. Ruostumaton teräs edistää kestäväää ja pitkäaikaista kehitystä ja se on kierrätettävä, korroosionkestävä, huoltovapaa, kestävä ja hygieeninen materiaali. Vuonna 2016 Outokummun liikevaihto oli 5 960 miljoonaa euroa ja ruostumattoman teräksen toimitukset kaikkiaan 2 444 000 tonnia. (Outokumpu Oyj 2017.)

Torniossa teräksen valmistus alkoi vuonna 1976 sulaton ja kylmävalssaamon voimin. Nykyisin tehdasalueella toimii ferrokromisulatto, jaloterässulatto, kuuma-valssaamo, kaksi kylmävalssaamoja sekä kaivos Kemissä. Tornion terästehdas on maailman suurin ja integroiduin ruostumattoman teräksen tuotantolaitos. Tornion tehtaiden pinta-ala on noin 600 hehtaaria. Tietä alueella on noin 50 km, josta kevyenliikenteen väyliä noin 10 km. Tehdas työllistää arviolta 2 150 henkeä, minkä lisäksi alueella työskentelee päivittäin palvelutoimittajien työntekijöitä noin 300 henkilöä. Tehtaan sähkönkulutus on 3,5 TWh vuodessa, joka on noin 4% koko Suomen sähkönkulutuksesta. Kuvassa 1 on esitetty Tornion tuotantolaitos. (Outokumpu Oyj 2017.)

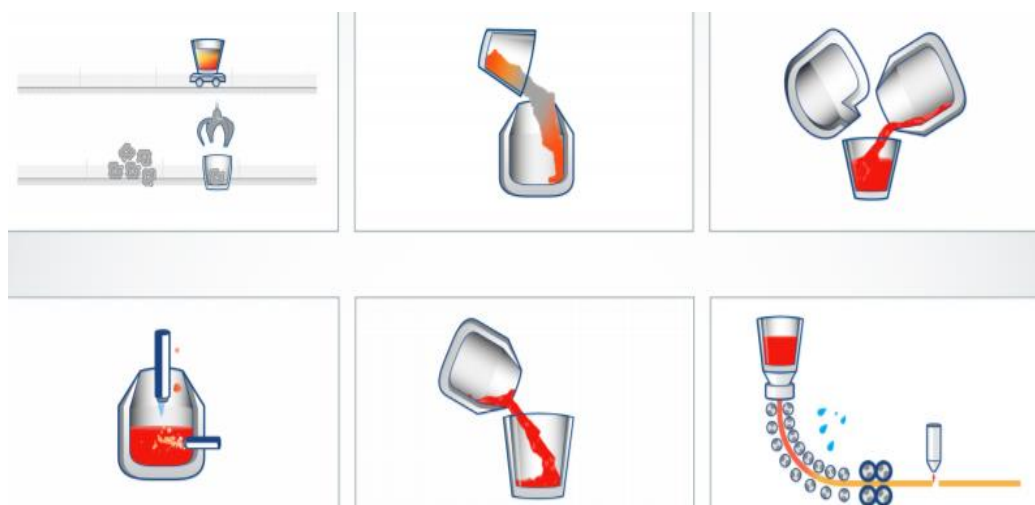


Kuva 1. Tornion tuotantolaitos (Outokumpu Oyj 2017)

2.1 Jaloterässulatto

Tämä insinööri työ tehtiin Tornion tehtaan jaloterässulatolle, joka on yksi maailman nykyaikaisimmista sulatoista. Tornion tehtaan jaloterässulaton kapasiteetti on 1,65 miljoonaa tonnia terästä vuodessa. Jaloterässulatolla tehdään töitä kolmessa vuorossa ympäri vuoden ja siellä työskentelee yhteensä noin 150 henkilöä.

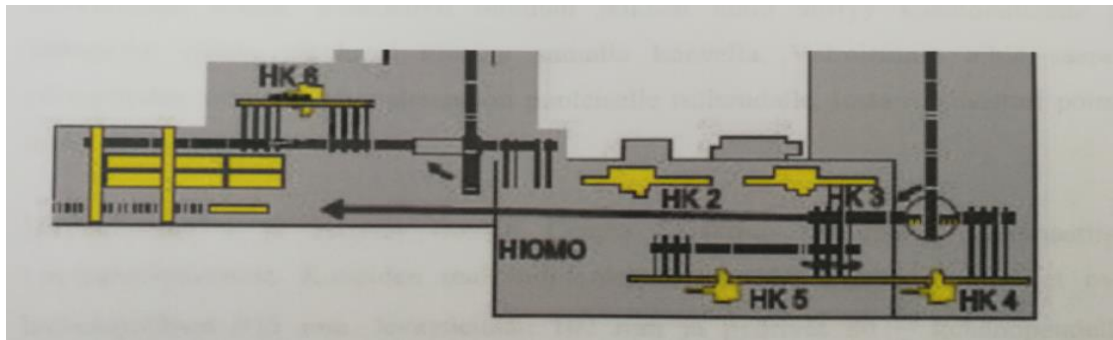
Jaloterässulatolla on kaksi tuotantolinjaa, joista ensimmäinen linja valmistaa pääasiassa ferriittisiä laatuja ja toinen linja austeniittisiä laatuja. Ferrokromitehtaalta saapuva sula ferrokromi kaadetaan ferrokromikonvertteriin, jossa pii ja osa hiilestä poistetaan sulasta. Valokaariuunissa sulatetaan kierrätysteräksestä ja muista raaka-aineista sula, joka sekoitetaan ferrokromisulaan ja siirretään senkassa AOD-konvertteriin. AOD-konvertterissa sulasta poistetaan hiiltä ja rikkiä sekä lisätään seosaineita. Sula kulkee vielä senkka-asemalle, jossa voidaan tehdä viimeiset muutokset sulaan ennen valua. Senkka-asemalta sula siirretään jatkuvavalukoneelle, jossa teräs valetaan ja katkaistaan polttoleikkaamalla aihioiksi. Sulaton tuotantolinja loppuu aihiohiomoon, josta prosessi jatkuu kuuma-valssaamolle. Kuvassa 2 on esitetty terässulaton tuotantokaavio. (Outokumpu Oyj 2017.)



Kuva 2. Terässulaton tuotantokaavio (Outokumpu Oyj 2017)

2.2 Aihiohiomo

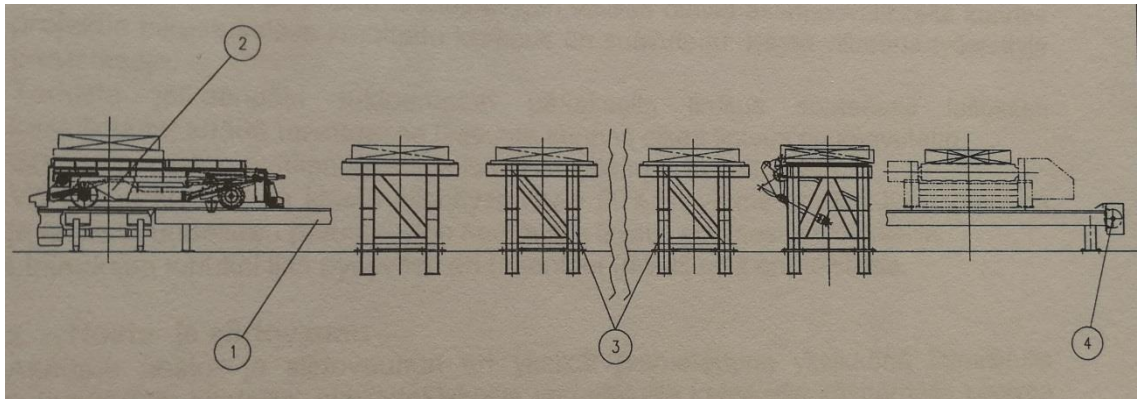
Aihiohiomo on terässulaton viimeinen vaihe ennen kuumavalssausta. Hiomossa poistetaan tietyissä teräslaaduissa esiintyvät tai aikaisemmissa prosesseissa syntyneet virheet. Aihiohiomossa on yksi manuaalinen hiomakone ja kolme automaattista hiomakonetta. Kuvassa 3 on aihiohiomon pohjapiirros, jossa vasemmalla 1-linjan päädyssä on uusi hiomakone 6 ja oikealla 2-linjan päädyssä hiomakoneet 4 ja 5. Linjojen välissä ovat kylmähiomakoneet 2 ja 3, joista enää hiomakone 3 on käytössä. Kylmähiomakonetta käytetään pääasiassa korjaushiontoihin. Automaattikoneita ohjataan etäältä valvomosta ja kylmähiomakonetta paikalta hiomakopista.



Kuva 3. Aihiohiomon pohjapiirros (Outokumpu Oyj 2017)

Valun jälkeen aihiot, joita ei tarvitse hioa siirtyvät rullarataa pitkin aihiojunaan, joka kuljettaa teräsaihiot kuumavalssaamolle jatkojalostukseen. Aihiot, jotka vaativat hiontakäsittelyn ennen kuumavalssausta, siirretään aihiovarastoon jäähtymään. Tällaisia aihioita ovat jokaisen valun ensimmäinen aihio, tietyt teräslaadut ja aihiot, joissa on havaittu prosessipoikkeamia. Hiontarve määräytyy automaattisesti tietyille teräslaaduille ja jokaisen valun ensimmäiselle aihiolle. Erilliset aihiot, joissa havaitaan vikoja, ohjataan hiontaan työntekijän arvion mukaisesti. Minimijäähdytysaika aihioille ennen hiontaa on kolme tuntia, sillä pyritään välttämään liian suuri poisto ja hiomakiven kuluminen. (Outokumpu Oyj 2017.)

Kun hiottava aihio on jäähtynyt, aihio nostetaan varastosta siltanosturilla rullaradalle ja ohjataan hiontaan. Aihio punnitaan ennen siirtoa hiomakoneelle. Kun aihion paino on mitattu, se siirtyy automaattisesti kuvassa 4 olevan siirtopöydän kautta hiontapöydälle. Hionta-ohjelma määräytyy aihion mitan, laadun ja tyyppin mukaan automaattisesti tai työntekijä asettaa erikseen ohjelman aihiossa olevan vian mukaan. (Outokumpu Oyj 2017.)



Kuva 4. Siirtopöytä (Outokumpu Oyj 2017)

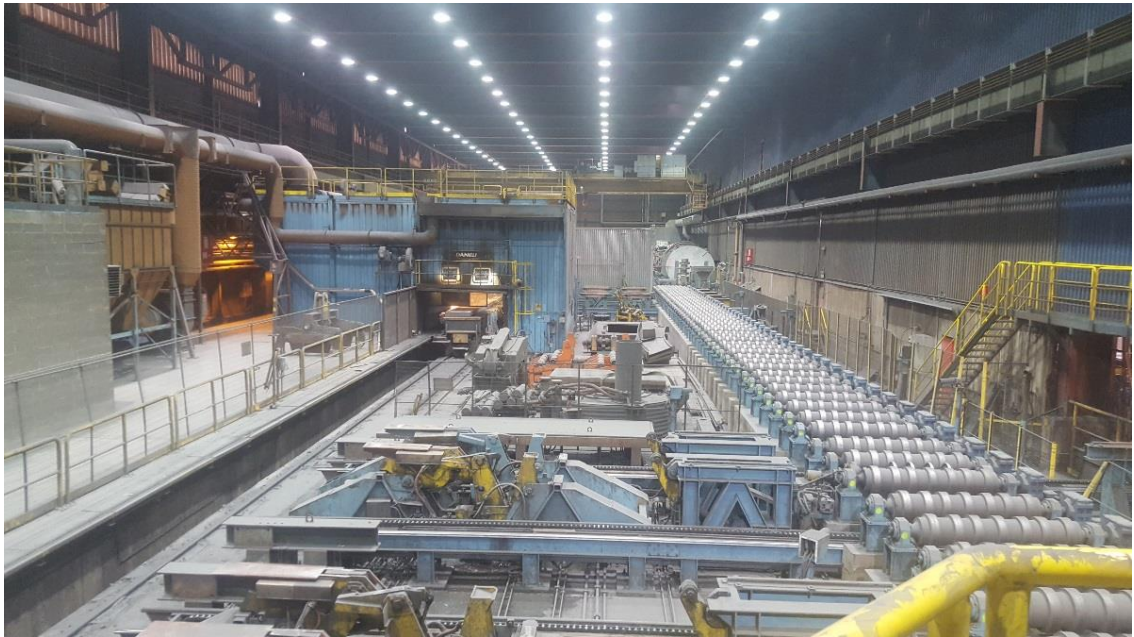
Kun aihio on hiontapöydällä, hiomakone mittaa aihion pituuden, jotta hiontapöytä liikkuu oikealla alueella hionnan aikana. Ennen hiontaa hiomakone mittaa hiomakiven koon. Kun työntekijä kuittaa kiven koon oikeaksi, hiomakone asettaa sille oikean kierrosnopeuden. Kun se on saavutettu, hiontapää laskeutuu aihion pintaan ja alkaa hioa sitä ennalta määrätyn hionta-ohjelman mukaisesti.

Hiomakone toimii täysin automaattisesti hionnan aikana. Työntekijä seuraa koneen toimintaa ja sen parametreja, kuten esimerkiksi kierrosnopeuksia ja lämpötiloja sekä asettaa uudet aihiot valmiiksi siirtopöydille.

2.2.1 Hiomakoneet 4 ja 5

Teräsaihioiden hionnassa käytettävät koneet ovat suuria koneyksiköitä. Lattiapinta-alan tarve on suuri, joten hiomakoneet vaativat erilliset hallit. Isoimman tilan vievät kuitenkin aihioden kuljetuslaitteet, koska teräsaihiot voivat olla yli 13 metriä pitkiä. Hiomakoneet 4 ja 5 sijaitsevat jaloterässulaton 2-linjan loppupäässä. Hiomakoneet 4 ja 5 on sijoitettu peräkkäin ja niiden välissä on aihionkääntölaite.

Kuvassa 5 on esitetty aihionhiomakone 4:n alue, aihionkääntölaite sekä rullarata, jota pitkin aihiot siirretään hiontaan.



Kuva 5. Kuvassa HK4, aihionkääntölaite sekä rullarata

Hiomakoneita voidaan käyttää yhdessä, jolloin toisella hiomakoneella hiotaan sisäkaari. Tämän jälkeen aihio käännetään ja se menee hiontaan toiselle koneelle, jossa hiotaan aihion ulkokaari. Nykyään hiomakoneita käytetään suurimmaksi osaksi erikseen. Tällöin kummallakin hiomakoneella on hionnassa oma aihio ja kumpikin puoli aihioista hiotaan samalla koneella. Näin vältetään, että eri pituisilla hionta-ohjelmilla toisen hiomakoneen ei tarvitse odottaa hionnan loppumista toisella koneella.

2.2.2 Koneen rakenne ja toiminta

Hiomakone 4 on Danieli Centro Maskinin vuonna 2002 valmistama automaattinen kuumahiomakone. Aihionhiomakoneen pääosat ovat hiomalaiteyksikkö, äänieristetty koppi, hiontapöytä, poikittaiskelkka, hiontapää, poistoyksikkö, hiomalaikan vaihtorobotti sekä koneen öljyvoitelu-, rasvavoitelu-, hydraulikka- ja sähköjärjestelmät. Koneen maksimihiontateho on 315 Kw. Hiomakivet ovat halkai-

sijaltaan 915 mm, leveydeltään 102 mm ja pyörivät 80 m/s vakionopeudella. Hiomakoneilla käytetään kahta hiomakiveä yhteen kiinnitettynä. Kuvassa 6 on esitetty HK4:n hiontapää.



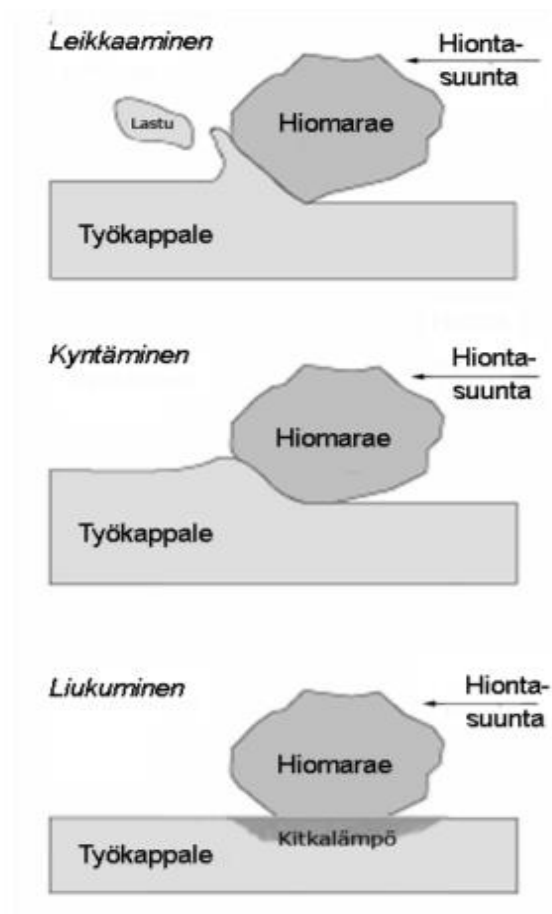
Kuva 6. HK4 hiontapää

Koneet toimivat täysin automaattisesti hionnan aikana. Hiontapöytä liikkuu koneen sisällä raiteita pitkin. Hiontapää painaa hiomalaikkaa ahiota vasten ja liikkuu poikittaissuunnassa askeleittain. Ahiosta poistuva materiaali lentää kipinäsuihkuna lastunkeräyskellariin, joka tyhjennetään viikoittain ja kierrätetään sulattamalla uudelleen teräkseksi.

3 HIONTA

Hionta kuuluu lastuaviin työstömenetelmiin. Siinä lastuaminen tapahtuu hiomarakkeella, jonka muoto on epämääräinen ja ainetta poistavia särmiä on lukuisia, mikä erottaa sen muista menetelmistä. Särmiä määrittelemätön muoto aiheuttaa sen, että hiontarakeet muodostavat erisuuruisia rinta- ja päästökulmia työstöpintaan nähden. Hiomarakeet on liitetty yhteen sideaineella laikaksi tai nauhaksi. (Maaranen 2007, 67.)

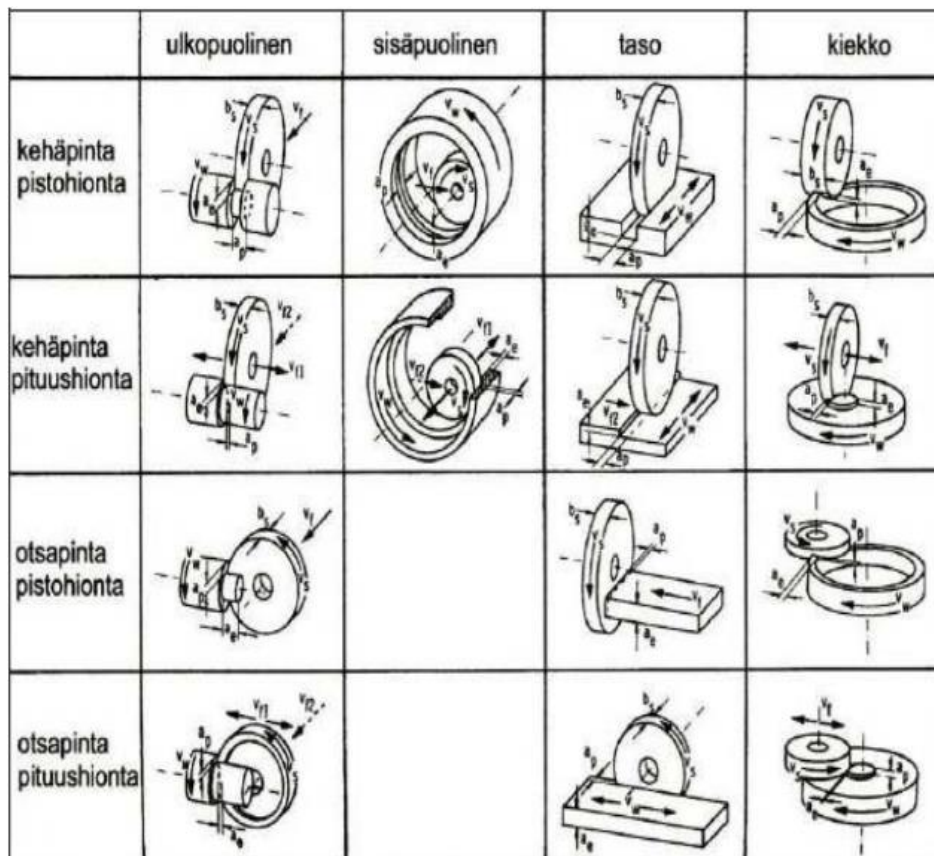
Lastuaminen tapahtuu hiomarakkeella, joka osuu työstettävään pintaan. Hiomara-keita toisissaan kiinni pitävän sideaineen vuoksi yksittäinen hiomarae ulottuu sideaineen ulkopuolelle vain osittain. Rakeen osuessa työkappaleen pintaan, se kuluu nopeasti ja rakeen tuottama lastuamissyvyys muodostuu pieneksi. Hiomarakkeen suuruudella on merkitystä yksittäisen rakeen lastuamissyvyyteen (Kuva 7). (Maaranen 2007, 67.)



Kuva 7. Lastuamistapahtuma (Uddeholm Oy 2017)

3.1 Hiontamenetelmät

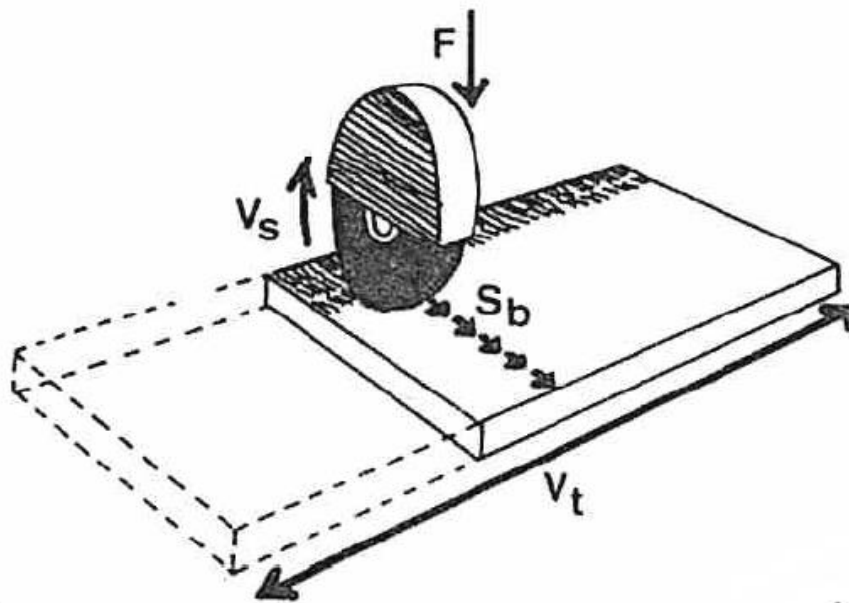
Hiontamenetelmät jaotellaan yleensä työstettävän kappaleen muodon mukaan. Lieriömäisen kappaleen hiontaa kutsutaan joko pyörö- tai tasohionnaksi. Pyöröhionta jaetaan vielä sisä- ja ulkopuoliseen hiontaan. Tasohionnan menetelmiä ovat otsa- ja kehähionta. Lisäksi on olemassa vielä erilaisia muotohiontamenetelmiä esimerkiksi kierteiden ja hampaiden työstämiseen. Hiontamenetelmät eroavat toisistaan pääasiassa vain hiottavan kappaleen muodon mukaan ja siten mikä osa kappaleesta halutaan hioa. Kuvassa 8 on esitetty erilaisia hiontamenetelmiä (Aaltonen 1997, 40)



Kuva 8. Hiontamenetelmät (Aaltonen 1997)

3.2 Tasohionta

Tasohionta nimensä mukaisesti suoritetaan tasaista ja suoraa pintaa hiottaessa. Aihionhionta on vakioteholla tapahtuvaa tasohiontaa suurella materiaalinpoistolla. Työstettävä kappale liikkuu hiontapöydällä pitkittäissuunnassa. Hiontapää painautuu aihiota vasten hioen aihion koko pituudelta. Aihion päissä hiontapää liikkuu askeltaen poikittaissuunnassa. (Outokumpu Oyj 2017.)



Kuva 9. Tasohionta (Malm 1984)

Hiontasyvyys määräytyy pääasiassa käytetyn tehon ja hiontapöydän nopeuden johdosta. Hiomakiven pyörimisnopeus säätyy automaattisesti hiomakiven koon mukaisesti, jolloin lastuamisnopeus pysyy vakiona. Moottorin tehoa lisättäessä hiomalaikka painautuu kovempaa hiottavan kappaleen pintaa vasten. Samalla, kun hiontasyvyys kasvaa, hiottavaa kappaletta liikutetaan nopeammin. Näin hiontahävikki ei kasva ja saadaan aihio hiottua nopeammin. Kuvassa 9 on esitetty tasohiontaa havainnollistava kuva.

3.3 Hionta-ohjelmat

Hiontakriteerit ovat erilaiset eri teräslaaduille, eikä kaikkia teräslaatuja hiota. Hiontatapoja on monenlaisia, aihio voidaan hioa kokonaan yli kerran tai useasti, aihioista voidaan hioa myös pienempiä alueita, jos koko aihiota ei tarvitse hioa. Hiomisen tarve eri laaduille on selvitetty sulaton jälkeisissä prosesseissa eli kuuma- ja kylmävalssauksessa esiintyviä vikoja analysoimalla. Lisäksi hionnan tarvetta on selvitetty kokeilemalla erilaisia käytäntöjä. Tiettyjen teräslajien kohdalla saattaa olla käytössä kriteerikohtainen tarkastelu, jonka perusteella ahiot hiotaan. Valukoneella valettava ensimmäinen aihio hiotaan aina, koska tiedetään, että valun aloituspäässä on vikoja. Kummankin linjan valukoneilla on myös kamerat. Ne kuvaavat aihion pintaa ja näkevät aihioihin syntyvät virheet, jolloin myös tätä kautta aihio voidaan ohjata hiontaan.

Tämän työn testeissä käytettiin ainoastaan austeniittisen titaanistabiloidun laadun hionta-ohjelmaa ja vain tehoa ja hiontapöydän nopeutta muutettiin. Hionta-ohjelmissa HK4:lla voi olla enintään neljä erilaista tapaa, jolla aihio hiotaan. Tapa tarkoittaa yhtä kertaa, kun hiomakivi laskeutuu kappaleenpintaan ja taas nousee ylös. Tässä ohjelmassa titaanistabiloitu teräsaihio hiotaan koko aihion pituudelta ensin kummaltakin reunalta 100 mm. Toinen ja kolmas tapa hioo keskeltä aihiota 400 mm ja 500 mm leveydeltä. Viimeinen tapa hioo koko aihion pinnan. (Outo-kumpu Oyj 2017.)

3.4 Pinnanlaatu

Hiottu aihio on keskeneräinen tuote, jolle tehdään vielä paljon jatkokäsittelyä. Aihioille tehtävä hionta poikkeaa normaalista hionnasta, jossa pyritään viimeistelemään työstettävä kappale tarkasti ja hyvällä pinnanlaadulla. Aihiohionnassa poistetaan aihion pintaviat isolla hävikillä, vaikka pinnanlaatu on tärkeää aihiohiomon toiminnassa, sille ei ole toleranssirajoja. Aihiohiomakoneilla syntyvä hiontajälki on melko karkeaa eikä ole toiminnan prioriteetti. Tutkin pinnanlaatua vain silmämääräisesti ja keskityin siihen, ettei pinnanlaatu dramaattisesti muutu

tehon noston myötä ja aihioissa olevat pintaviat saadaan edelleen poistettua. Kuvassa 10 vasemmalla aihion pinnalla näkyvä halkeama, joka vaatii vielä korjaushionnan sekä oikealla oskillointijälkeä. (Outokumpu Oyj 2017.) Korjattavia vikoja Outokummun laatuohjeen mukaisesti ovat:

- halkeamat
- kuonasulkeumat
- tarttumat
- painaumat
- oskillointijäljet. (Outokumpu Oyj 2017.)



Kuva 10. Vasemmalla halkeama, oikealla oskillointijälkeä

4 HIONTAPARAMETRIT

Hiomakoneen säädettäviä parametreja ovat, paine, teho, poikittaissyöttö, hionta-pöydän nopeus ja hiomakiven kulma. Outokummun aihiohiomakoneet toimivat tehosäädöllä, eli teho on ohjaava tekijä hionnassa syntyville voimille.

4.1 Materiaalinpoistotehokkuus

Materiaalinpoistotehokkuus eli MRR kuvaa hiontahävikkiä ajan suhteen ja on erinomainen hionnan tehokkuutta kuvaava muuttuja.

$$MRR = \frac{\text{poistettu materiaali}}{\text{aika}} = \frac{kg}{h} \quad (1)$$

4.2 Hiomakiven kuluminen

Hiomarakeet ovat alun perin teräviä, mutta kuten kaikki lastuavat särmät, ne kuluvat käytössä ja tylsyvät. Lopulta rakeet ovat kuluneet niin, että materiaaliin tunkeutuminen on vaikeaa. Ne eivät enää poista ainetta ja kehittävät vain lämpöä. Oikein toimivassa hiomalaikassa sideaineessa esiintyvien jännitysten ja sideaineen lujuuden on oltava tasapainossa niin, että kun hiomarae tylsyy tarpeeksi, se irtaana sideaineesta ja sen korvaa uusi terävä hiomarae. Toisin sanoen hiomalaikka teroituu itsestään. (Uddeholm Oy 2017.)

Hiomakiven suorituskykyä kuvaava kaava

$$G = \frac{\text{poistettu materiaali}}{\text{hiomakiven kuluminen}} = \frac{kg}{kg} = \frac{dm^3}{dm^3} \quad (2)$$

ilmoittaa hiontahävikin suhteessa hiomakiven kulumiseen. Outokummulla käytössä on yhdistelmä $\frac{kg}{dm^3}$ aihiohiontojen yhteydessä, koska hiomakiven kulumisen määrittämisen tilavuuden muutoksena. Raskaasti poistavassa hionnassa käytetään suureina usein kiloja.

4.3 Hiontapöydän nopeus

Hiontapöydän nopeus on yksi tärkeimmistä hiontaa säätelevistä parametreista. Kun hiontapöydän nopeutta nostetaan, se lisää värähtelyä kappaleessa, koska hiomakivi toimii kovemmin. Kivi kuluu vähemmän sekä hionnan pinnanlaatu on parempi korkeilla pöydän nopeuksilla. Mahdollisimman korkea hiontapöydän nopeus on siis avainasemassa hionnan tehokkuutta tarkasteltaessa. (Norton 2017.)

4.4 Hiontapään kulma

Hiontakulmaa voidaan vaihdella aihionhionnassa 90° – 45° välillä. Yleisesti 90° hiontakulma tuottaa paremman pinnanlaadun hiottavaan kappaleeseen. Alhaisilla hiontakulmilla hiontajälki on kuitenkin leveämpää joka vedolla, mikä mahdollistaa 90° kulmaan verrattuna huomattavasti suuremmat poikittaissyötön arvot. Hiottaessa 90° asteen kulmalla tapahtuu turhaa hiontaa, koska hionnassa täytyy päästä tiettyyn tavoite syvyyteen, mutta tasaisen pinnan saavuttamiseksi poikittaissyötön tulee olla maltillinen. Yleisesti 90° kulmalla hiottaessa päästään paikoittain syvemmälle verrattuna pieniin hiontakulmiin, koska kiven kosketuspinta-ala on pienempi. Kuitenkin pieniä kulmia suositellaan, johtuen isommasta kiven aktivoinnista lastuamiseen ja poikittaissyötön kasvattamismahdollisuudesta. Kuvassa 11 on esitetty hiontakulmat hionnassa. (Norton 2017.)

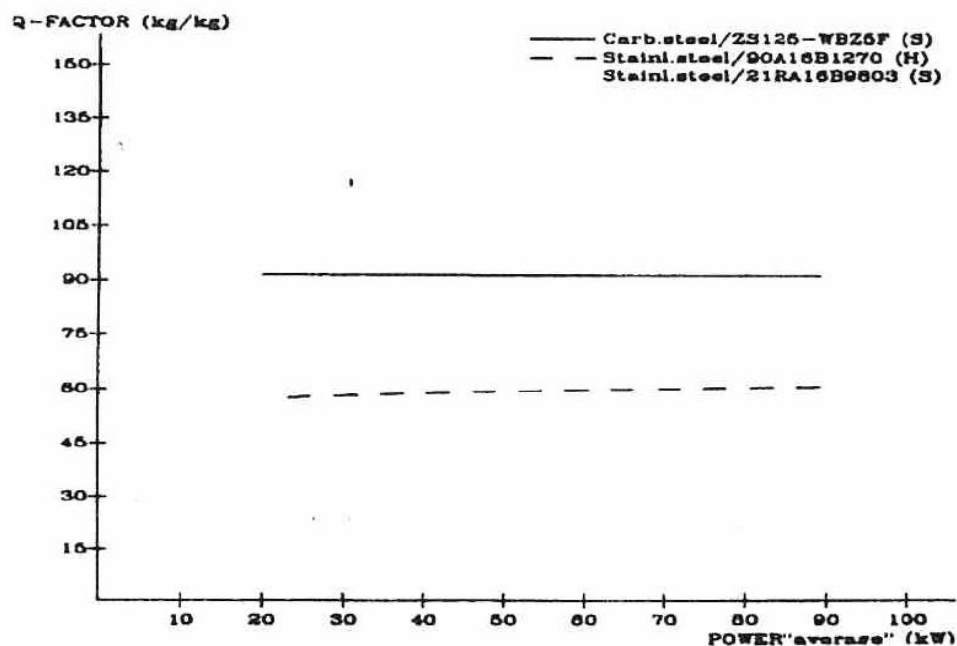


Kuva 11. Hiontakulmat aihionhionnassa (Norton 2017)

5 TEHON NOSTON VAIKUTUS

Hiontatehon nostaminen kasvattaa hiomon tehokkuutta, mutta samalla hiomakivi kuluu nopeammin. Teorian mukaan korkeilla hiontatehoilla lastuamisvoimat kasvavat ja kiveen kohdistuu myös räsitusta enemmän, joka kiihdyttää kiven kulumista. Kuvion 1 perusteella tehon vaikutus kiven G-arvoon on todella pieni. (Hittenkofer 1984, 1-20.)

Q-FACTOR as function of POWER "average" at 80m/s

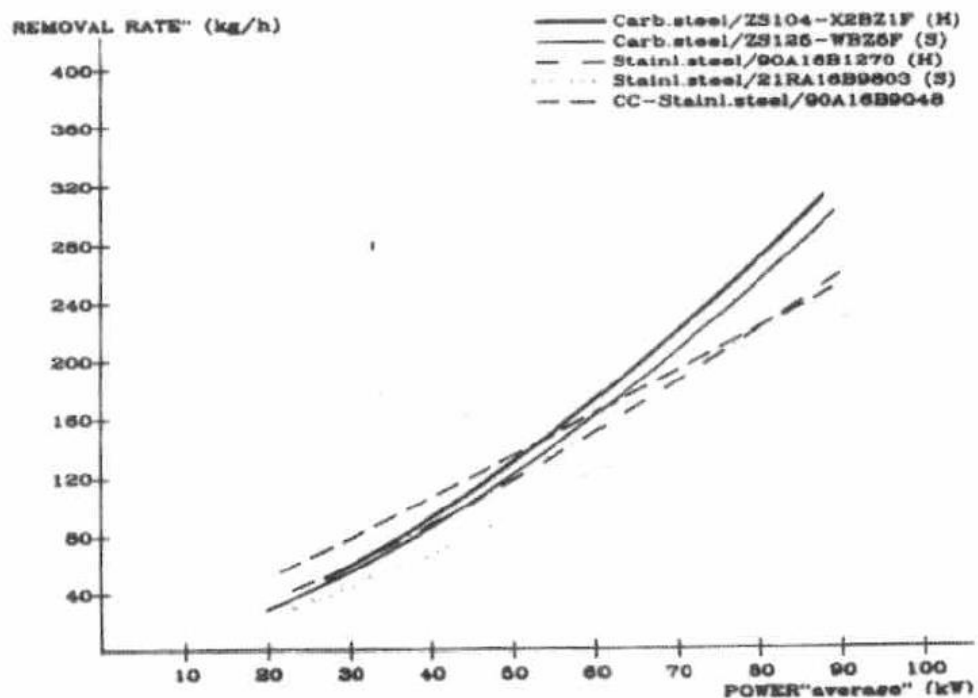


Kuvio 1. Hiomakiven suorituskyky tehon funktiona (Hittenkofer 1984)

5.1 Materiaalinpoistotehokkuus

Pääasiassa tehon lisäys vaikuttaa pinnanlaatuun materiaalinpoistotehokkuuden lisääntymisen myötä. Tehon lisäyksellä saavutetaan tehokkaampi lastuaminen, jolla on positiivinen vaikutus materiaalinpoistotehokkuuteen. Kuviossa 2 on esitetty, miten MRR kasvaa tehon noustessa.

REMOVAL RATE as function of POWER"average" at 80m/s

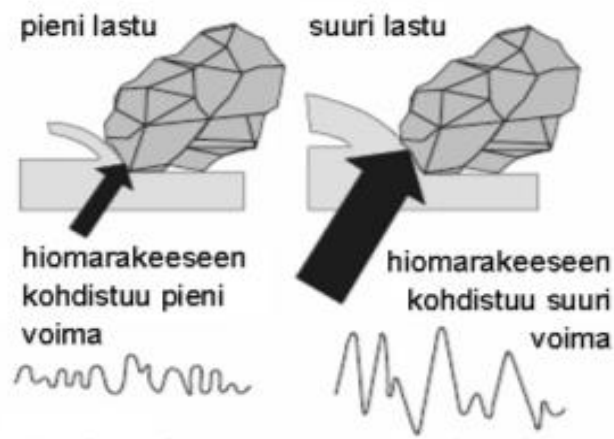


Kuvio 2. MRR tehon funktiona (Hittenkofer 1984)

Mikäli aihiohionnassa vaaditaan tehokas poisto ja siisti pinta, käytetään kahta hiontakuviota. Niistä ensimmäinen poistaa materiaalia isolla teholla ja jälkimmäinen tasoittaa pintaa kevyemmällä teholla. Teholla ja hiontapään paineella on myös oleellinen merkitys hiontapöydän nopeuteen nähden. Suuren tehon käyttö mahdollistaa korkeiden hiontapöydän nopeuksien käytön. Tehon lisäys lisää materiaalinpoistotehokkuutta, kun taas hiontapöydän nopeuden lisäys pyrkii vähentämään lastuamissyvyyttä. Maksimaaliset hiontapöydän nopeudet sekä hiontamoottorin täyden tehon hyödyntäminen ovat hiomon kapasiteetin ja taloudellisuuden kannalta erittäin tärkeässä asemassa. (Waburek & Oswald 1984, 1-48.)

5.2 Teho ja pinnanlaatu

Teoriassa hiomakiven kulumisen kasvaa tehon lisääntyessä ja hiomakiven teroittuminen on voimakkaampaa. Liian pienen hiontatehon käyttö saattaa tylsyttaa hiomarakeita ja lisätä hiottavan materiaalin plastista työntymistä. Hiottaessa yli 200kW teholla hiomakiven kulumisen on melko voimakasta ja hiomakiven pintaan paljastuu enemmän uusia hiomarakeita. Hiomakiven voimakas teroittuminen vaikuttaa pinnanlaatuun hieman negatiivisesti, koska syntyneet lastut ovat kasvaneiden hiontavaimien vuoksi isompia, kuten kuvassa 12 on esitetty. (Hitenkofer 1984, 1-20.)



Kuva 12. Tehon vaikutus lastun kokoon (Uddeholm Oy 2017)

6 KUNNONVALVONTA JA MITTAUKSET

Kunnonvalvontamittauksin pyritään havaitsemaan laitteiden vikaantuminen jo hyvissä ajoin. Näin säästytään vakavan asteen vioilta, jotka voivat johtaa koneen pysähtymiseen joko täydellisen särkymisen tai suojausjärjestelmän hälytysten laukeamisen johdosta. Esimerkiksi laakeriviat pystytään usein havaitsemaan niin aikaisin, että laakereilla voidaan ajaa turvallisesti vielä jopa kuukausia. Näin laakerin vaihto voidaan ajoittaa niin, ettei se haittaa normaalia tuotantoa. Yleisimmin kunnonvalvonnasta puhuttaessa tarkoitetaan sellaisia mittauksia, jotka tehdään laitteiden käydessä normaaleissa käyntiolosuhteissa niitä pysäyttämättä. Käytännössä pääosa kunnonvalvonnasta keskittyy pyörivien laitteiden mekaanisen kunnon arviointiin. (ABB 2000.)

6.1 Kunnossapito

Kuten muuallakin sulatolla, myös aihiohiomossa suoritetaan viikoittaiset huolto-
seisokit. Niissä tarkastetaan koneet yleisesti ja korjataan viikon aikana ilmenneet viat. Seisokin aikana voidaan tehdä myös suunniteltuja isompia huoltotöitä, mutta yleensä vain enintään päivän työn vaativia korjauksia. Suuremmat koneiden huollot ja muutostyöt suoritetaan noin kaksi viikkoa kestävässä vuosihuollossa.

Käyttöseuranta on jatkuvaa ja pienimuotoista ja se suoritetaan pääasiassa käyttäjän normaalin toiminnan ohessa. Jaksotetut huollot muodostavat selvästi etukäteen ohjelmoidun ja suunnitellun toimenpidekokonaisuuden. Kunnonvalvonta on jatkuvaa toimintaa, jossa kohteen tilaa seurataan erilaisten mittausten avulla. Mittaukset voivat olla jatkuvia tai tietyin välein suoritettavia. Tyypillistä on, että toimenpiteet ovat laajempia kuin käyttöseurannassa sekä jatkuvampia ja pidempikestoisia kuin jaksotetuissa huolloissa.

Tutkimusta suoritettaessa hiomakoneen rakenteita tarkastettiin ja hiomakiven kulumista seurattiin sekä myös laakereiden värähtelyä analysoitiin tietyin väliajoin. Testien edetessä kunnossapidollisia mittareita seurattiin tarkasti, jotta mahdollisiin muutoksiin (esim. laakereiden lämpötiloissa) voitiin puuttua välittömästi.

Erilaisia aihiohiomon huoltotoimenpiteitä:

- laitteen osien puhdistus
- hiontapään voitelu
- tarkistukset
- testaukset
- mittaukset
- huoltotoimenpiteet, kuten öljynvaihdot
- osien ja komponenttien vaihdot
- erilaiset korjaukset
- korjausten suunnittelut.

6.2 Lämpötilan mittaus

Lämpötila on fysikaalinen suure, joka on mitattavissa vain suurelta atomijoukolta. Se on aineen rakenneosien liike-energiaa. Lämpötilan mittayksiköinä pääsääntöisesti käytetään Kelvineitä (K) tai Celsius-asteita (C). Muutos celsiusasteista kelvineiksi saadaan lisäämällä celsiusasteisiin 273,15. Lämpö siirtyy kahden aineen välillä aina kuumemmasta kohti kylmempää. Lämpötila vaikuttaa aineen kemialliseen rakenteeseen molekyylitasolla, koska atomit ja atomien väliset kiinnevoimat muodostavat sidoksia atomien välillä. Lämpötilaa voidaan mitata mm. lämpömittarilla, lämpökameralla, vastuslämpötila-anturilla sekä termoparilla. (Eskola, Ketolainen & Stenman 2000, 94.)

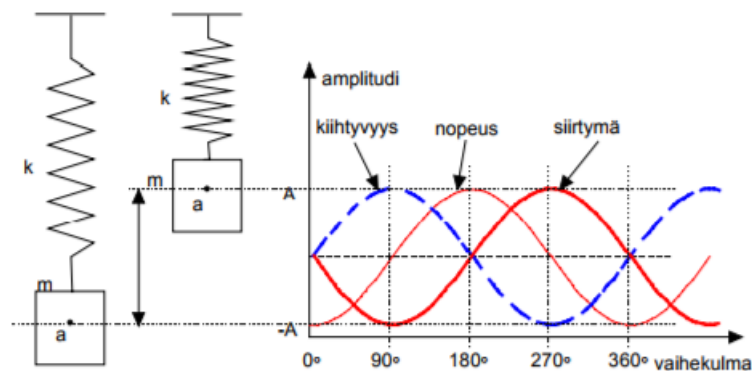
Lämpötilan kohoaminen mekaanisen laitteen käydessä on yleensä merkki kasvaneesta kitkasta, joka johtuu vauriosta tai voiteluhäiriöstä. Lämpötilan mittaus on joissain tapauksissa käyttökelpoinen kunnonvalvonnan menetelmä. Usein kuitenkin lämpötila kohoaa vasta siinä vaiheessa, kun vaurio on jo niin vakavalla asteella, että korjausten valmisteluun jäävä aika on liian pieni. (ABB 2000.)

Lämpötila-antureita on hiomakoneen hiontapäässä neljä. Ne mittaavat lämpötilaa hionnan aikana. Anturit varoittavat lämpötilan noususta, kun se on yli 60°C ja noustessa yli 62°C kone sammuu automaattisesti, kunnes lämpötila on laskenut alle 60°C . Lämpötilan mittaus suoritettiin kuvan 13, kulmavaihteen laakerista, hiomalaikan laakerista, tunkin laakerista ja spindelin ytimen antureilta tulevia tietoja käyttäen. Spindeli on hiomakoneen hiomakara, joka siirtää tehon moottorilta hiomakiveen.

6.3 Värähtelyn mittaus

Mekaaninen värähtely on kappaleen, kuten rakenteen, koneen tai koneen osan, liikettä tietyn tasapainoaseman ympärillä. Jatkuakseen värähtely tarvitsee suuntaa tai suuruuttaan vaihtavan voiman, joka syntyy esimerkiksi akselin pyörimisestä. (Nohynek & Lumme 2004, 40-44.)

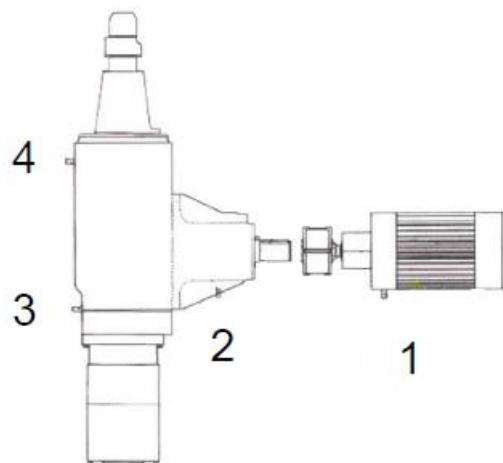
Värähtelyn mittayksikkönä käytetään hertsejä (Hz). Periaatteessa kaikki värähtelevät laitteet ovat jousi-massasysteemejä, koska mikään laite ei ole täysin jäykkä kappale. Yksinkertainen esimerkki värähtelevästä systeemistä on jousi-massasysteemi, joka esitetään kuviossa 3. (Nohynek & Lumme 2004, 40-44.)



Kuvio 3. Jousi-massasysteemin pisteen a siirtymä, värähtelynopeus ja kiihtyvyys. (ABB 2000)

Yleisesti värähtely- ja värähtelymittauksiin perustuvia menetelmiä pidetään tehokkaimpina koneiden kunnonvalvonnassa silloin, kun arvioidaan dynaamisia ilmiöitä kuten tasapainoa, laakeroinnin kuntoa ja yleisesti voimia, jotka kohdistuvat laitteen eri komponentteihin. Värähtelyn mittauksessa käytetään yleisimmin tiedonkeruulaitteita tai analysaattoreita. Tietojen tallennus ja varsinainen analysointi tehdään yleensä tietokoneella. Värähtelyä analysoimalla voidaan löytää esimerkiksi epätasapaino, mekaaniset välilyönnit, rakenteen resonanssitaajuuksia, taipunut akseli tai asennusvirheitä. Värähtelyn analysointiin on olemassa monia erilaisia menetelmiä, joista yleisimpiä ovat nopeuden tehollisarvon mittaaminen (värähtelyarvo) sekä spektrianalyysit. Näitä kahta voidaan pitää perusmenetelminä, joilla suurin osa vaurioista voidaan löytää. (ABB 2000.)

Shock Pulse Method (suomeksi iskusysäysmenetelmä) on SPM Instrument AB:n patentoima värähtelymittausmenetelmä, joka perustuu 32kHz resonanssitaajuuksien omaavan anturin käyttöön. Korkean mittaustaajuuksien käytöllä pyritään saamaan esille laakerin vaurioitumiseen viittaavat heikkotehoiset signaalit koneen muun värähtelyn joukosta. (Mustonen 2000, 8.)



Kuva 13. Hiontapään värähtely-antureiden sijainnit (Outokumpu Oyj 2017).

Värähtelyä mitattiin hiontapään neljästä anturista, joiden sijainti näkyy kuvassa 13. Antureista tulee tietoa viiden minuutin välein, joka tallennetaan ja analysoidaan tietokoneella Condmaster Ruby -ohjelmalla. Condmaster Ruby on kattava kunnonvalvonnan ja ennakoivan kunnossapidon ohjelma. Ohjelman avulla pystytään analysoimaan värähtelymittauksia. Lisäksi ohjelman avulla tehdään värähtelymittausreitit, jotka siirretään mittauslaitteelle. Condmaster Ruby -ohjelmaan kuuluvat muun muassa laakerirekisteri, voitelutiedot, laakerien käyttöiän laskenta, ISO-raja-arvot, SPM:n käyttökunnon arviointisäännöt, matemaattiset värähtelyanalyysimallit ja vikaoireet. (Condmaster Ruby 2017.)

7 TESTIT

Tämän työn tutkimusosassa on tarkoituksena suorittaa testihiontoja eri parametriasetuksilla. Lisäksi analysoida hiomakoneen kunnossapidollisia mittareita testihiontojen hiontahävikkiä vertailemalla sekä seuraamalla hiomakiven kulumista hiontatehon muuttuessa. Tutkimus on rajattu noin 1250 mm leveille austeniittisille titaanistabiloiduille väliaihioille ja hionnat suoritetaan vain hiomakoneella 4, jotta muuttujat pysyisivät mahdollisimman vähäisinä. Tehon nostaminen asetettiin vain aihion viimeiseen hiontakäytäntöön eli ylihiontaan. Hiontapöydän nopeutta nostettiin lineaarisesti samassa suhteessa tehon kanssa. Taulukossa 1 on laskettu tehon nostamisen vaikutus hiontojen kestoon ennen testejä, taulukossa myös hiontojen prosessiparametrit.

Taulukko 1. Laskennallinen vaikutus hionta-aikoihin ennen testejä.

TEHO	NOPEUS (m/min)	AIKA ylihionta (min)	teho (%)	aika säästö (min)	aika säästö (%)
175	32	57			
189	36	51	111 %	6	4,5 %
215	44	43	123 %	14	10,0 %
235	55	33	134 %	24	18,0 %

Testien aikana hiottiin 40 kappaletta aihioita. Tutkimus aloitettiin hiomalla kymmenen aihioita hionta-ohjelmalla, jonka hiontatehoksi on asetettu 175 kW. Seuraavaksi teho nostettiin 189 kilowattiin, jonka jälkeen 215 kilowattiin ja viimeiseksi 235 kilowattiin. Jokaisella teholla hiottiin kymmenen aihiota.

Testien aikana hiomakivi mitattiin käsin työntömitalla ennen hiontaa, aihion käännön aikana ja hionnan loppuksi, jotta saatiin tarkka tieto kiven kulumisesta. Myös aihion lämpötila mitattiin ennen hiontaa. Hionnan aikana lämpötilat mitattiin koneen eri osista ja lisäksi värähtelyn mittausta suoritettiin jatkuvasti. Aihion pinnanlaatu tarkastettiin silmämääräisesti hionnan loppuksi. Pääpaino tutkimuksessa oli hiomakoneen kunnossapidollisten mittareiden analysointi, hiontojen nopeutuminen sekä hävikkien ja kiven kulumisen seuranta.

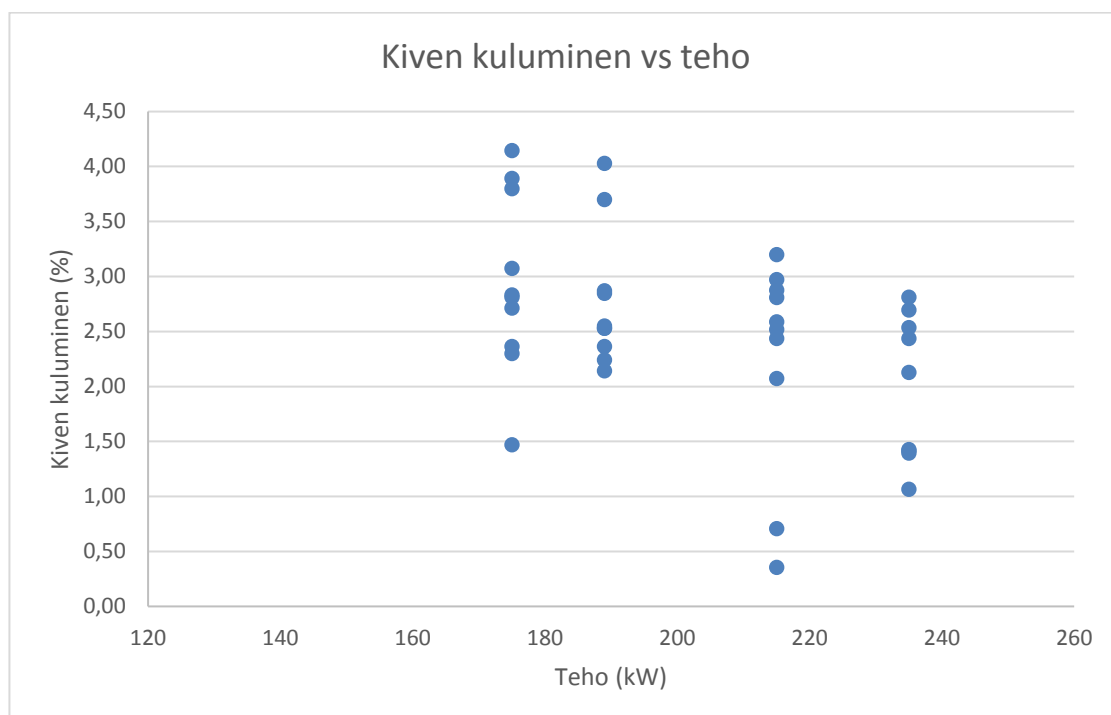
7.1 Tulokset

Tavoitteena oli optimoida hiontateho analysoimalla aloitustestissä hiottujen aihoiden hiontatuloksien eroavaisuuksia testihiontojen tuloksiin. Materiaalinpoistotehokkuus MRR määritellään hiontahävikin ja hiontapään kontaktiajan avulla. Taulukossa 2 on esitetty, miten MRR käyttäytyi testihionnoissa.

Taulukko 2. Materiaalinpoistotehokkuus tehon nostossa

Teho (kW)	MRR (kg/h)
175	538
189	527
215	543
235	563

Hiomakiven kuluminen oli yksi seuratuista osa-alueista. Koska hiontakiven lasermittaus oli epätarkka, käytettiin kiven mittaukseen työntömittaa virheen välttämiseksi ja tarkempien tulosten saamiseksi. Kuviossa 3 on esitetty hiomakiven kuluminen prosenteissa tehon kasvaessa. Tehon noustessa kontakti-aika lyhenee, joten hiomakivi ei kerkeä kulua yhtä paljon kuin pitempi kestoisilla ohjelmilla. Hiomakiveen kohdistuva lisääntynyt paine ei näytä vaikuttavan kiven kulumiseen kovinkaan paljon.

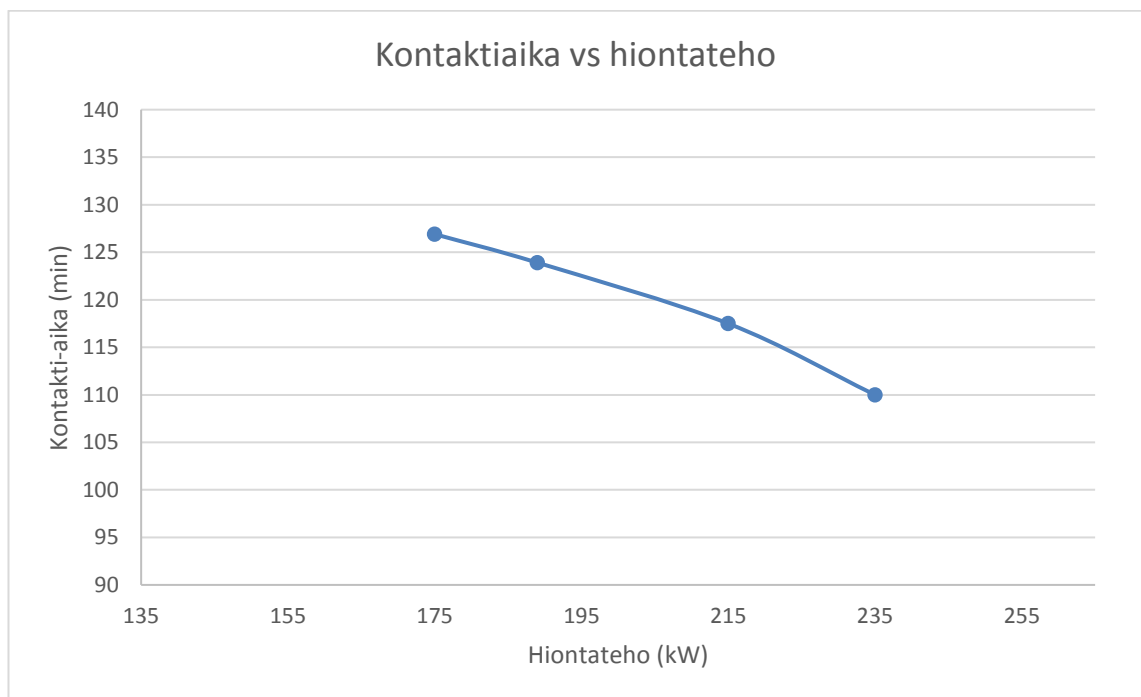


Kuvio 3. Tehon vaikutus hiomakiven kulumiseen

Hiomakivi näyttäisi myöskin kuluvan hieman nopeammin pienillä halkaisijoilla, joka johtuu kasvaneesta kierrosnopeudesta ja sitä kautta suuremmista lastuamisvoimista.

7.1.1 Hionta-ajat

Kun hiontaohjelmaa muokataan ja hiontamoottorin tehoa lisätään, hiomalaikka painautuu kovempaa hiottavan kappaleen pintaa vasten. Samaan aikaan, kun hiontasyyvyys kasvaa, liikutetaan hiottavaa kappaletta nopeammin. Näin hiontahävikki ei kasva ja saadaan aihio hiottua nopeammin. Tehoa pidetään merkittävimpänä prosessiparametrina aihiohionnassa. Odotetusti tehon ja hiontapöydän nopeuden kasvaessa hionta-aika väheni huomattavasti, kuten myös kuvio 1 osoittaa. Ensimmäisen testin keskiarvo kontakti-ajaksi saatiin 126,9 minuuttia hiontatehon ollessa 175 kW. Tasainen hionta-aikojen lasku tapahtui jokaisella teholla. Viimeisessä testissä 235 kW teholla hionta-aika laski eniten, 17 minuuttia alkuperäistä hiontaa nopeampi.



Kuvio 4. Hionta-aika

7.1.2 Värähtelymittaukset

Värähtelymittausten tulosten tulkinnessa kiinnitettiin huomiota, siihen kuinka mitaustulos poikkeaa ja siihen, miten mitaustulosten trendi poikkeaa edellisistä mitauksista. Värähtelyn mittausta säädettiin mittaamaan viiden minuutin välein, jotta tuloksia saataisiin tarkemmin.

Tärkeää mitaustulosten käsittelyssä on hyvä dokumentointi. Ilman sitä ei vauriokehitystä pystytä havaitsemaan ja vaurioitumisen ajankohtaa arvioimaan. Outokummun värähtelymittaus tallentaa tiedot automaattisesti, näin voidaan analysoida useammankin vuoden takaisia värähtelyjä.

Anturijärjestelmästä saatava mittaussignaali johdetaan valvontajärjestelmään, jolla se analysoidaan. Tutkimuksessa oli mukana Outokummun mittaavan ja ennakoivan kunnossapidon osasto, jossa analysoidaan joka aamu järjestelmän värähtelymittausdataa. Testien aikana saadusta datasta ei löytynyt mitään hälyttävää informaatiota, mikä olisi kertonut tehon noston negatiivisesta vaikutuksesta hiomakoneen toimintaan.

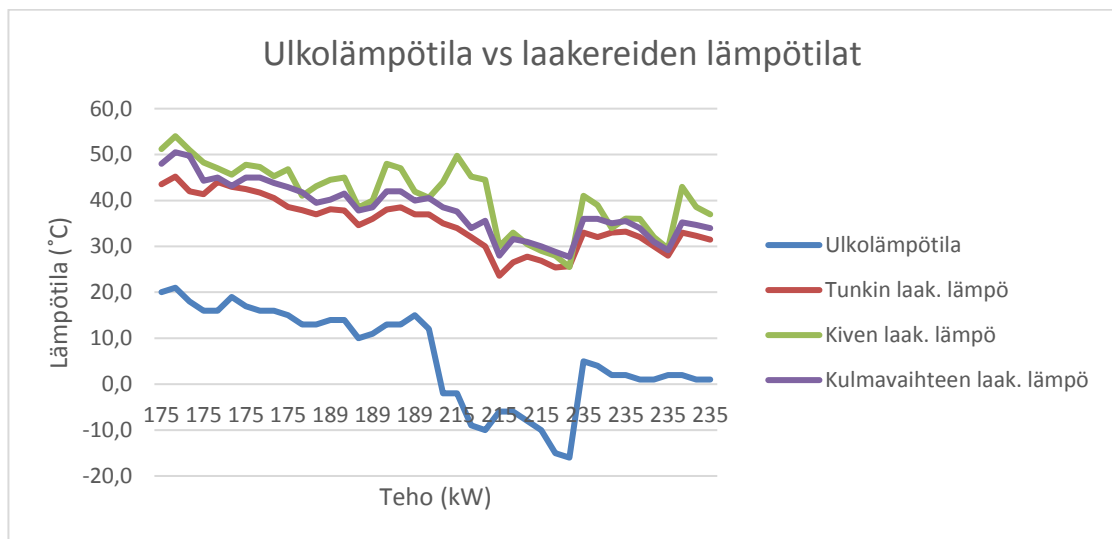
Jos lisääntynyt hiontateho kuluttaa laakereita, pitäisi koko laakerille lisääntynyt paine näkyä värähtelyn voimistumisena kaikilla laakerin pinnoilla. Yksittäinen värähtelypiikki, esimerkiksi ulkokehällä, tarkoittaa muusta vauriosta aiheutunutta kulumaa laakerin ulkokehällä. Värähtelyt eivät juurikaan muuttuneet testien aikana. Tästä työstä saatujen tulosten perusteella ei ole havaittavissa merkittävää yhteyttä voimakkaamman hionnan ja kasvaneen värähtelyn välillä.

7.1.3 Lämpötilamittaukset

Hiontojen aikana lämpötilamittausten analysointi tapahtui seuraamalla hiontapäässä sijaitsevia lämpötila-antureita, jotka antavat tietoja laakereiden lämpötiloista. Lämpötiloissa ei tapahtunut suuria muutoksia ensimmäisellä eikä toisella hiontatehon nostolla. Vasta kolmas ja neljäs tehon nosto tuotti selviä muutoksia laakereiden lämpötiloissa. 175 kW:n teholla hiottaessa tunkin laakerin lämpötila keskiarvo oli 42,2°C, kiven laakerin 48,4°C ja kulmavaihteen laakerin 45,7°C.

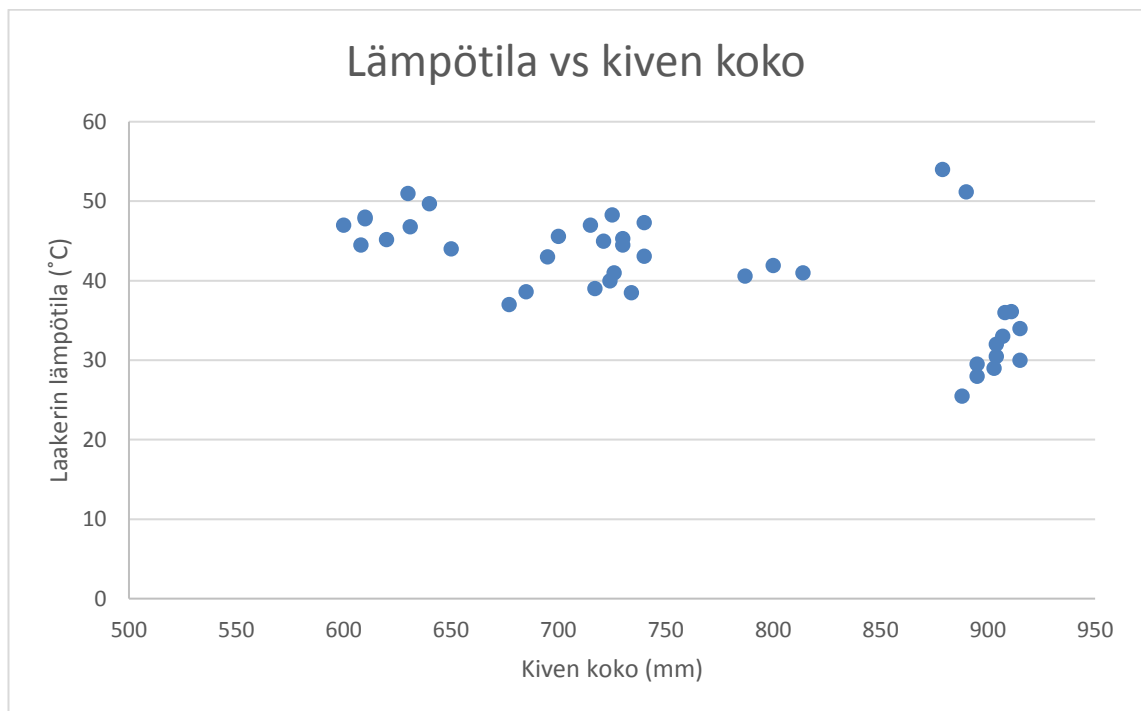
Kun teho nostettiin 189 kilowattiin, suuria muutoksia ei tapahtunut. Vaikka kolmannessa testissä teho nostettiin 215 kilowattiin, lämpötilojen keskiarvot laskivat. Sama toistui viimeisessä testissä 235 kW:n teholla, kun laakereiden lämpötilojen keskiarvot olivat noin 10 °C alhaisemmat.

Tulosten perusteella voidaan olettaa, että mittauksiin vaikutti testien aikana ulkolämpötilojen muutokset. Kuviosta 4 huomataan selvä trendi lämpötilan laskuun. Ensimmäiset testihionnat tehtiin noin 25°C lämpötilassa ja viimeisimmät, kun hallin lämpötila oli noin -5°C. Tämän ulkolämpötilan muutoksen vuoksi tämä testiosio ei anna tarkkaa tietoa, miten tehonnosto vaikuttaa laakereiden lämpötiloihin. Testeissä tuli kuitenkin myös tilanteita, jolloin vallitsi lähes sama lämpötila 189 kW ja 235 kW testihionnan aikana. Tehon nosto ei näyttänyt kuitenkaan vaikuttavan laakereiden lämpötiloihin myöskään tuolloin. Kuviossa 5 on esitetty, miten hallissa vallitseva lämpötila vaikuttaa laakereiden lämpötiloihin. Kuviosta voidaan päätellä, ettei testeissä käytetyillä hiontatehoilla näyttäisi olevan suurta vaikutusta laakereiden lämpötiloihin.



Kuvio 5. Ulkolämpötila suhteessa laakereiden lämpötiloihin.

Laakereiden lämpötilojen mittauksista ei saatu varmuutta, miten tehon nosto vaikuttaa laakereihin, mutta selkeästi lämpötiloihin vaikutti kiven koko. Kierrosnopeus kasvaa hiomakiven pienentyessä. Uudella 915 mm kokoisella kivellä kierrosnopeus on noin 1200 rpm. Hiomakivi on pienimmillään 570 mm, jolloin kierrosnopeus on reilusti yli 2000 rpm. Tästä kierrosnopeuden muutoksesta johtuen selkeä lämpötilan nousu tapahtuu hiomakiven halkaisijan pienentyessä. Kuviossa 6 on esitetty, miten kiven koko vaikuttaa laakereiden lämpötiloihin.



Kuvio 6. Kiven koon vaikutus laakerien lämpötiloihin

7.2 Vertailu

Työn tarkoituksena oli läpimenoajan parantuminen, joka onnistui suunnitellusti. Taulukossa 3 on esitetty testien tulokset kymmenen hiotun aihion keskiarvona. Ensimmäiset aihiot hiottiin ohjelmalla, joka oli käytössä ennen tutkimusta. Kun hiontateho nostettiin 189 kilowattiin, hionta-aika lyheni 3 minuutilla ja muillakin testeillä lähes lineaarisesti tehon mukaan. Viimeinen testi hiottiin 235 kW:n teholla, jolloin keskiarvokontaktiajaksi saatiin 110 minuuttia, joka on 17 minuuttia vähemmän kuin 175 kW:lla hiottaessa.

Taulukko 3. Testien tulokset keskiarvoina

Teho kW	Tunkin laak. °C	Kiven laak. °C	K.vaihd.laak. °C	Hävikki %	Hävikki (kg)	Hionta aika (min)
175	42,2	48,3	45,7	4,9	1137	126,9
189	37,2	42,9	40,4	4,7	1087	123,9
215	28,7	36	32,3	4,6	1065	117,5
235	31,8	36,6	34	4,4	920	110

Prosessiparametrien osalta hiomakiven kulumisen voimistuu hieman hiontatehoa lisättäessä, mutta tulosten perusteella kiven suorituskyky ei kärsi. Hiomakiven kulumisen voimistuu lievästi kiven pienentyessä. Hiomakiven kulumisen ei näytä kuluvan enemmän korkeammilla lämpötiloilla, mutta MRR kasvaa hieman kasvattaen G-arvoa. Kestävät ja tehokkaasti poistavat hiomakivet tarvitsevat riittävästi tehoa hiomakoneelta, jotta kivi teroittuu tehokkaasti.

Materiaalinpoistotehokkuuteen voidaan vaikuttaa suurella hiontateholla, jolloin hiontavoimat kasvavat ja lastuaminen tehostuu. Hiontapöydän nopeuden lisäys nopeuttaa hiontakuviota selkeästi, mutta vastustaa tehokasta lastuamissyvyyttä. MRR osoitti kevyttä kasvua hiontatehon noustessa. Tuottavuudelta paras hionta saavutetaan maksimaalisella hiontapöydän nopeudella, yhdistettynä hiomakoneen täyden tehon hyödyntämiseen.

8 POHDINTA

Työssä tutkittiin jaloterässulaton aihoiden hionnan tehostamista ja erityisesti hiomakoneiden prosessiparametrien vaikutuksia hiontaan. Hiomakoneen tehon nosto, hiomakiven kuluminen ja materiaalinpoistotehokkuus olivat keskeisimmät tutkimuskohteet. Työssä käytettiin monenlaisia lähteitä, kuten sähköisiä lähteitä, kirjoja, oppaita, tilastoja ja haastatteluja, koska haluttiin saada mahdollisimman laajan tietopohjan tutkimukseen.

Minulla oli ennen työn aloitusta hyvä käsitys, siitä miten hiomo toimii, koska olin työskennellyt hiojana pari vuotta. En kuitenkaan tiennyt, miten tehon nostaminen tulisi vaikuttamaan koneen toimintaan. Testijärjestelyt onnistuivat alussa hyvin, mutta välillä tuli aikoja, jolloin tuotannollisista syistä testejä ei voitu suorittaa. Lopulta testihionnat saatiin kuitenkin tehtyä ja työn kannalta hyviä tuloksia nousi esiin. Työn suoritus onnistui mielestäni erittäin hyvin. Testiaika jäi kuitenkin hieman lyhyeksi. Tarvittaisiin pitkäaikaisia näyttöjä tehon nostosta, jotta voitaisiin varmuudella sanoa, aiheuttaako tehonlisäys kunnossapidollisia haasteita.

Ongelmana testeissä oli tutkimuksen keston venyminen. Ensimmäisiä aihioita hiontaessa lämpötila oli 25°C ja joidenkin hiontojen aikana lämpötila oli reilusti pakkasen puolella. Tästä johtuen lämpötilan mittausta ei antanut tarkkaa tulosta, miten tehon nosto tulisi vaikuttamaan laakereiden lämpöön. Muut tutkimuksen osat menivät hypoteesin mukaan, eikä tehon nosto aiheuttanut lisääntyntä värähtelyä koneessa ja poisto pysyi halutulla tasolla. Poistokeskiarvo laski hieman alkuperäisestä, mutta ohjelmaa muokkaamalla ongelma voitaisiin korjata.

Hiomakivi kuluu voimakkaammin suurella teholla, mutta samalla hiontapöydän nopeutta kasvattamalla kontaktiaika lyheni. Tästä johtuen voimakkaammalla kiven kulumisella ei ole kiven tehokkuuden eli G-arvon kannalta juurikaan vaikutusta. Tästä tutkimuksesta saaduilla tuloksilla hiomakoneen suuremman tehon hyödyntäminen johtaa selkeästi merkittäviin läpimenoaikojen kehityksiin laadun kärsimättä.

LÄHTEET

Aaltonen, K., Andersson, P., Kauppinen, V. 1997. Koneistustekniikat. 1. painos. Porvoo: WSOY

ABB:n TTT-käsikirja. 2000. Luku 23: Kunnonvalvonta ja huolto. Viitattu 6.7.2017. http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/23_Kunnonvalvonta%20ja%20huolto.pdf

Condmaster Ruby 2017. Viitattu 21.9.2017. <https://www.spminstrument.com/Products/SPM-software/CondmasterRuby/>

Eskola, S., Ketolainen, P. & Stenman, F. 2000. Fotoni 2: Lämpö ja Energia. Helsinki: Otava.

Hittenkofer, J. 1984. Grinding parameters relationships. Metallurgiska Forskningsstationen. Luleå: MEFOS.

Maaranen, K. 2007. Koneistustekniikat. 5. Uudistettu painos. Helsinki: WSOY.

Malm, B. Steel conditioning – technique and economy. 1984. Metallurgiska Forskningsstationen. Luleå: MEFOS.

Mustonen, M. 2000. Paperikoneiden vierintälaakereiden kunnonvalvontamenetelmät. Espoo: VTT Valmistustekniikka

Nohynek, P. & Lumme, V. E. 2004. Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. 2. täydennetty painos. Rajamäki: KP-Media Oy.

Norton 2017. Technical solutions for cutting and grinding. Viitattu 21.9.2017. http://www.nortonabrasives.com/sites/sga.na.com/files/document/Technical_Solutions_for_Cutting_Grinding_in_the_Primary_Steel_Market_3.pdf .

Kauppalehti 2017. Viitattu 3.7.2017. <http://www.kauppalehti.fi/5/i/porssi/porssikurssit/osake/?klid=1129>

Outokumpu Oyj 2017. Viitattu 5.7.2017. <http://www.outokumpu.com/en/Pages/default.aspx>.

Uddeholm Oy 2017. Työkaluterästen hionta. Viitattu 14.11.2017. http://www.uddeholm.fi/files/tyokaluterasten_hionta.pdf.

Waburek, M & Oswald, E. 1984. Experiences made with a grinding line for semi-finished products of high grinding performance and output capacity. Metallurgiska Forskningsstationen. Luleå: MEFOS.

LIITTEET

Liite 1. Hiomakoneiden värähtely-anturit

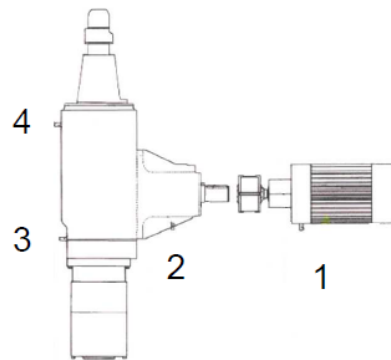
Liite 2. Mittaustulokset

JTSU Hiomakoneet 4 ja 5

Hiomakone 4		
Module	Channel	Mittapiste
1(Vib)	5	Moott. D
1(Vib)	6	Vaihde D
1(Vib)	7	Spindeli N
1(vib)	8	Hiomapää

Hiomakone 5		
Module	Channel	Mittapiste
1(Vib)	1	Moott. D
1(Vib)	2	Vaihde D
1(Vib)	3	Spindeli N
1(Vib)	4	Hiomapää

Harting liitin HK 4 ja 5	
Moottori D	1+ 2-
Vaihde D	3+ 4-
Spindeli	5+ 6-
Hiomapää	7+ 8-



Liite 2 1 (4)

175k W								
Ai- hionu mero	Kiven koko ennen	Kiven koko loppu	Tunkin laak. Lämpö °C	Kiven laak. Lämpö °C	Kulmavai- heen lämpö °C	Kiven lämpö °C	Aihion lämpö- tila °C	Pvm
74400 6	888	876	43,1	49,2	47	55	175	10.7.201 7 klo 6.45
74400 5	876	865	45,2	54,8	50,5	50	110	10.7.201 7 klo 12.00
75040 4	630	624	40,4	49,1	47,1	55	59	31.7.201 7 klo 10.30
75800 6	725	715	41,4	48,3	45,5	50	280	19.8.201 7 klo 7.05
75800 3	715	700	44,4	49,6	45,7	55	280	19.8.201 7 klo 9.45
75800 2	700	690	42,7	45,6	43,2	53	190	19.8.201 7 klo 12.15
75842 2	610	600	42	45	42,8	60	190	20.8.201 7 klo 9.30
75884 5	740	732	41	47,3	45	50	150	21.8.201 7 klo 14.30
75844 4	730	720	40	43,9	43,8	50	110	21.8.201 7 klo 17.30
75842 3	631	615	38,6	46,8	42,9	50	85	22.8.201 7 klo 16.15

Liite 2 2 (4)

189 kW										
Ai-hion ume ro	Kiven koko ennen	Kiven koko väli	Kiven koko loppu	Tunkin laak. Lämpö	Kiven laak. lämpö	Kulma-vaih-teen lämpö	Ki-ven läm-pö	Ki-ven mer kki	Ai-hion läm-pötila	Pvm
761 204	814/814	811/811	806/811	37,9/38	42,8/40,8	41,8/41,2	45	Nor-ton	140	29.8.2017 klo 8.20 /189kW klo 9.00-9.30
761 186	740/736	737/733	730/722	37/37,9	41,6/44,1	39,5/40	47	Nor-ton	100	30.8.2017 klo 6.45 /189kW klo 7.47-8.14
761 185	730/722	726/722	721/710	38,1/38,5	43,9/46	40,2/40,7	45	Nor-ton	110	30.8.2017 klo 9.35 / 189kW klo 10.30-10.50
761 184	721/710	717/710	713/705	37,4/38	44,4/45,4	40/41	40	Nor-ton	100	30.8.2017 klo 11.15
764 843	734/733	730/724	724/719	33,9/35	36,9/39	37/38,3	42	Nor-ton	73	9.9.2017 klo 8.35 / 189kW klo 9.15-9.40
764 882	724/719	720/713	715/710	36/36,5	40/40,5	38,5/38,6	45	Nor-ton	65	9.9.2017 klo 11.10 / 189kW klo 11.50-12.18
765 201	610/590	605/590	600/590	38/38	48/47	42/42,5	60	Nor-ton	110	10.9.2017 klo 17.05/ 189kW klo 17.45-18.10
765 186	600/590	590/582	584/578	38/39	47/47	41/42,5	63	Nor-ton	100	10.9.2017 klo 19.20 / 189kW klo 20.20- 20.45
766 184	800/785	797/791	787/782	37/37	40,5/42	40/40	50	Nor-ton	80	12.9.2017 klo 23.40 / 189kW klo 0.20-0.45
766 183	787/782	785/785	780/769	37/37,5	40,6/40,8	40/41	45	Nor-ton	75	12.9.2017 klo 2.05 / 189kW klo 2.45-3.10

Liite 2 3 (4)

215 kW										
Aihion umero	Ki- ven kok o en- nen	Kiven koko väli	Ki- ven koko lopp u	Tunkin laak. Lämpö °C	Kiven laak. Lämpö °C	Kulma- vaihteen lämpö °C	Ki- ven läm- pö °C	Ki- ven merk ki	Aihion läm- pötila °C	Pvm
782 122	650/ 630	648/ 640	640/ 637	35/35,3	44/45	38/39	70	Nor- ton	170	30.10.2017 klo 15.50 /215kW klo 16.30-16.55
782 146	640/ 637	635/ 630	628/ 615	34/35	46,6/5 0	37/38	71	Nor- ton	165	30.10.2017 klo 18.15/215kW klo 19.00-19.23
782 144	620/ 609	617/ 606	608/ 595	32/31	39/47	33/35	78	Nor- ton	130	30.10.2017 klo 23.27/ 215kW klo 0.07-0.30
782 121	608/ 595	600/ 593	597/ 590	30/31	43/45	35/37	77	Nor- ton	60	31.10.2017 klo 2.40 /215kW klo 3.20-3.45
782 143	915/ 890	908/ 890	906/ 880	21/25	23/31	26/30	20	3M	60	31.10.2017 klo 15.40/ 215kW klo 16.20- 16.45
782 142	906/ 880	905/ 885	905/ 875	26,5/27, 5	32/34	31/32	30	3M	100	31.10.2017 klo 18.05/ 215kW klo 18.45 - 19.10
782 141	905/ 875	903/ 874	903/ 875	27/28	31/30	31/31	40	3M	100	31.10.2017 klo 20.30 / 215kW klo 21.10- 21.30
782 127	903/ 875	900/ 874	895/ 872	27/26	30/28	30/29	40	3M	80	31.10.2017 klo 22.50 / 215kW klo 23.30-23.53
782 126	895/ 872	890/ 869	888/ 870	25/26	27,6/2 8	28,2/29	35	3M	65	1.11.2017 klo 1.39 / 215kW klo 2.19- 2.41
782 125	888/ 870	885/ 868	882/ 867	25,2/26	25/25, 5	27,5/28	35	3M	65	1.11.2017 klo 4.00 /215kW klo 4.40-5.03

Liite 2 4 (4)

235 kW										
Ai-hion ume ro	Kiven koko ennen	Kiven koko väli	Kiven koko loppu	Tunkin laak. Lämpö	Kiven laak. lämpö	Kulma-vaih-teen lämpö	Ki-ven läm-pö	Ki-ven mer kki	Ai-hion läm-pötila	Pvm
785 341	726/7 25	723/ 722	717/7 19	32/34	40/41	35/37	45	3M	35	9.11.2017 klo 20.05/235kW klo 20.45 - 21.05
785 327	717/7 19	715/ 716	712/7 14	31/33	39/40	36/36,5	55	3M	30	9.11.2017 klo 22.25 /235kW klo 23.05 - 23.25
785 322	915/8 87	911/ 881	911/8 76	32/33	35,5/ 34	34,7/35	20	3M	65	10.11.2017 klo 19.55/ 235kW klo 20.35-20.55
785 321	911/8 76	909/ 880	908/8 68	32,5/3 3	36/36 ,3	36/35,7	44	3M	80	10.11.2017 klo22.10 / 235kW klo 22.50 -23.10
785 306	908/8 68	906/ 877	904/8 73	32,3/3 2	35,3/ 36,2	35,4/34 ,5	45	3M	80	11.11.2017 klo00.25 / 235kW klo 1.10 - 1.30
758 305	904/8 73	900/ 875	896/8 76	33/32, 9	36,4/ 37	35/35,6	46	3M	80	11.11.2017 klo 2.40 /235kW klo 3.20- 3.40
758 303	895/8 66	892/ 876	888/8 76	32/33	35,3/ 36	35,7/37	50	3M	80	11.11.2017 klo 5.25 /235kW klo 6.05 - 6.25
786 043	695/6 90	692/ 690	685/6 76	32,7/3 3,4	42,2/ 41	35,2/35	50	3M	80	12.11.2017 klo 22.40/235kW klo 23.20-23.40
758 304	685/6 76	683/ 670	677/6 65	32,2/3 3	38,4/ 38	34,6/35	50	3M	50	13.11.2017 klo 1.04 /235kW klo 1.40- 2.00
758 302	677/6 65	674/ 663	670/6 60	31,5/3 2	37/37 ,6	34/35,2	40	3M	40	13.11.2017 klo 3.20/ 235kW klo 4.03- 4.23